



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE PORCENTAJES DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO SOBRE LOS PARÁMETROS MARSHALL EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, TRUJILLO 2017

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero Civil**

**Autor:**

Br. Edwin Yair Soto Avalos

**Asesor:**

Ing. David Tello Villarruel

Trujillo – Perú

2018

## **APROBACIÓN DE LA TESIS**

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el Bachiller **Edwin Yair Soto Avalos**, denominada:

### **INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE PORCENTAJES DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO SOBRE LOS PARÁMETROS MARSHALL EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, TRUJILLO 2017**

---

Ing. David Jonatan Tello Villarruel  
**ASESOR**

---

Ing. Juan Paul Edward Henríquez Ulloa  
**JURADO**  
**PRESIDENTE**

---

Ing. Wiston Henry Azañedo Medina  
**JURADO**

---

Ing. Josualdo Villar Quiroz  
**JURADO**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b><u>APROBACIÓN DE LA TESIS</u></b> .....	<b>2</b>
<b><u>DEDICATORIA</u></b> .....	<b>3</b>
<b><u>AGRADECIMIENTO</u></b> .....	<b>4</b>
<b><u>ÍNDICE DE CONTENIDOS</u></b> .....	<b>5</b>
<b><u>ÍNDICE DE TABLAS</u></b> .....	<b>7</b>
<b><u>ÍNDICE DE FIGURAS</u></b> .....	<b>10</b>
<b><u>RESUMEN</u></b> .....	<b>13</b>
<b><u>ABSTRACT</u></b> .....	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>15</b>
1.1. Realidad problemática .....	15
1.2. Formulación del problema .....	17
1.3. Justificación .....	17
1.4. Limitaciones .....	18
1.5. Objetivos .....	18
1.5.1. <i>Objetivo general</i> .....	18
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	18
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>20</b>
2.1. Antecedentes .....	20
2.2. Bases teóricas .....	25
2.2.1. <i>Mezclas Asfálticas</i> .....	25
2.2.2. <i>Asfalto modificado</i> .....	29
2.2.3. <i>Método de diseño de mezcla</i> .....	31
2.2.4. <i>Aplicación de caucho de llanta reciclada en mezclas asfálticas</i> .....	52
2.3. Hipótesis .....	59
<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA</b> .....	<b>60</b>
3.1. Operacionalización de variables .....	60
3.1.1. <i>Variable Independiente</i> .....	60
3.1.2. <i>Variable Dependiente</i> .....	60
3.2. Diseño de investigación .....	60
3.3. Unidad de estudio .....	61
3.4. Población .....	61
3.5. Muestra .....	61
3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos .....	61
3.6.1. <i>Técnicas e instrumentos</i> .....	61
3.6.2. <i>Procedimiento de recolección de datos</i> .....	61
3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos .....	119

<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS.....</b>	<b>120</b>
4.1. Selección de cantera.....	120
4.2. Características de los materiales pétreos. ....	120
4.2.1. <i>Ensayos para agregado grueso.</i> .....	120
4.2.2. <i>Ensayos para agregado fino</i> .....	124
4.3. Características del Cemento Asfáltico. ....	129
4.4. Requisitos de la mezcla de áridos. ....	130
4.5. Diseño Marshall. ....	131
4.6. Elaboración de mezcla asfáltica en caliente con caucho mediante proceso seco .....	134
<b>CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN .....</b>	<b>136</b>
5.1. Análisis de los resultados obtenidos. ....	136
5.1.1. <i>Características de los agregados pétreos</i> .....	136
5.1.2. <i>Características del Cemento Asfáltico</i> .....	138
5.1.3. <i>Requisitos de la mezcla de áridos</i> .....	138
5.1.4. <i>Diseño Marshall de la mezcla patrón</i> .....	138
5.1.5. <i>Mezcla asfáltica en caliente con caucho</i> .....	139
5.2. Análisis Comparativos de Costos Unitarios.....	159
5.3. Análisis ambiental de la Huella de carbono.....	160
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>162</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>163</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>164</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>166</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1:</b> Parámetros del Diseño Marshall de mezcla con 1% de caucho .....	23
<b>Tabla 2.2:</b> Resultados de las mezclas con 6.0% de cemento asfáltico.....	24
<b>Tabla 2.3:</b> Niveles de Análisis Método Superpave.....	37
<b>Tabla 2.4:</b> Puntos de control de granulometrías Superpave .....	45
<b>Tabla 2.5:</b> Esfuerzos de compactación .....	48
<b>Tabla 2.6:</b> Requerimientos de Superpave para el VMA .....	49
<b>Tabla 2.7:</b> Requerimientos de Superpave para el VFA.....	49
<b>Tabla 3.1:</b> Operacionalización de la variable dependiente.....	60
<b>Tabla 3.2:</b> Requerimientos para los agregados gruesos.....	62
<b>Tabla 3.3:</b> Requerimientos para los agregados finos.....	63
<b>Tabla 3.4:</b> Tamices de ensayo NTP 350.001.....	64
<b>Tabla 3.5:</b> Peso necesario del agregado grueso para Ensayo de Durabilidad (al Sulfato de magnesio) .....	65
<b>Tabla 3.6:</b> Tamices a usar en el ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio).....	66
<b>Tabla 3.7:</b> Número de esferas de acuerdo con la Gradación .....	68
<b>Tabla 3.8:</b> Gradación de las muestras de ensayo.....	68
<b>Tabla 3.9:</b> Peso de muestra para ensayo Índice de Durabilidad .....	71
<b>Tabla 3.10:</b> Peso mínimo del material para ensayo de partículas chatas y alargadas .....	74
<b>Tabla 3.11:</b> Dimensiones de los calibradores grosor y longitud y peso mínimo para subdivisión de la fracción .....	75
<b>Tabla 3.12:</b> Cantidad mínima de muestra para ensayo Sales solubles .....	77
<b>Tabla 3.13:</b> Cantidad mínima de muestra para ensayo Caras fracturadas.....	79
<b>Tabla 3.14:</b> Peso mínimo de la muestra de ensayo Absorción.....	82
<b>Tabla 3.15:</b> Tamices para ensayo de durabilidad al Mg.....	90
<b>Tabla 3.16:</b> Peso necesario del agregado grueso para Ensayo de Durabilidad (al Sulfato de Magnesio) .....	91
<b>Tabla 3.17:</b> Selección del tipo de cemento asfáltico .....	95
<b>Tabla 3.18:</b> Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración .....	96
<b>Tabla 3.19:</b> Aceptabilidad de los resultados para el ensayo .....	98
<b>Tabla 3.20:</b> Especificación de la Nafta .....	106
<b>Tabla 3.21:</b> Especificación del Heptano .....	106
<b>Tabla 3.22:</b> Tipo de combinaciones para los agregados.....	109
<b>Tabla 3.23:</b> Requisitos para mezcla de concreto bituminoso .....	117
<b>Tabla 3.24:</b> Ficha técnica de caucho triturado .....	118
<b>Tabla 4.1:</b> Durabilidad (al Sulfato de Magnesio) del agregado grueso .....	121
<b>Tabla 4.2:</b> Desgaste por abrasión del agregado grueso .....	121

<b>Tabla 4.3:</b> Índice de Durabilidad del agregado grueso.....	121
<b>Tabla 4.4:</b> Partículas chatas del agregado grueso.....	122
<b>Tabla 4.5:</b> Partículas alargadas del agregado grueso.....	122
<b>Tabla 4.6:</b> Sales solubles del agregado grueso .....	122
<b>Tabla 4.7:</b> Con dos o más caras fracturadas del agregado grueso .....	123
<b>Tabla 4.8:</b> Con una cara fracturada del agregado grueso.....	123
<b>Tabla 4.9:</b> Absorción del agregado grueso.....	123
<b>Tabla 4.10:</b> Equivalente de arena del agregado fino.....	124
<b>Tabla 4.11:</b> Angularidad del agregado fino.....	125
<b>Tabla 4.12:</b> Índice de plasticidad (Malla N° 40) .....	125
<b>Tabla 4.13:</b> Índice de plasticidad (Malla N° 200) .....	126
<b>Tabla 4.14:</b> Índice de durabilidad del agregado fino .....	127
<b>Tabla 4.15:</b> Sales solubles totales del agregado fino.....	128
<b>Tabla 4.16:</b> Absorción del agregado fino.....	128
<b>Tabla 4.17:</b> Especificación técnica del cemento asfáltico .....	129
<b>Tabla 4.18:</b> Granulometría de la mezcla de agregados .....	130
<b>Tabla 4.19:</b> Cuadro resumen de los Parámetros Marshall.....	131
<b>Tabla 4.20:</b> Parámetros del Diseño Marshall con el contenido óptimo de asfalto (5.8%).....	134
<b>Tabla 4.21:</b> Parámetros Marshall de mezcla asfáltica con 1% caucho .....	135
<b>Tabla 4.22:</b> Parámetros Marshall de mezcla asfáltica con 2% caucho .....	135
<b>Tabla 4.23:</b> Parámetros Marshall de mezcla asfáltica con 3% caucho .....	135
<b>Tabla 5.1:</b> Combinación de agregados para la mezcla asfáltica .....	138
<b>Tabla 5.2:</b> Verificación de los Parámetros Marshall de la mezcla patrón.....	139
<b>Tabla 5.3:</b> Cuadro comparativo de mezclas asfálticas convencionales vs mezclas asfálticas con caucho .....	139
<b>Tabla 5.4:</b> Prueba de Normalidad .....	140
<b>Tabla 5.5:</b> Prueba de Homogeneidad de varianzas para la variable Estabilidad .....	142
<b>Tabla 5.6:</b> Prueba de ANOVA para la variable Estabilidad .....	143
<b>Tabla 5.7:</b> Comparación múltiple para la variable Estabilidad.....	143
<b>Tabla 5.8:</b> Prueba de Normalidad para la variable Flujo .....	144
<b>Tabla 5.9:</b> Prueba de Homogeneidad de varianzas para la variable Flujo.....	146
<b>Tabla 5.10:</b> Prueba de ANOVA para la variable Flujo.....	147
<b>Tabla 5.11:</b> Comparación múltiple para la variable Flujo .....	147
<b>Tabla 5.12:</b> Prueba de Normalidad para la variable %Vacíos de aire .....	148
<b>Tabla 5.13:</b> Prueba de Homogeneidad de varianzas para la variable %Vacíos de aire .....	150
<b>Tabla 5.14:</b> Prueba de ANOVA para la variable %Vacíos de aire .....	151
<b>Tabla 5.15:</b> Comparación múltiple para la variable %Vacíos de aire.....	151
<b>Tabla 5.16:</b> Prueba de Normalidad para la variable %VMA .....	152

<b>Tabla 5.17:</b> Prueba de Homogeneidad de varianzas para la variable %VMA.....	154
<b>Tabla 5.18:</b> Prueba de ANOVA para la variable %VMA.....	155
<b>Tabla 5.19:</b> Comparación múltiple para la variable %VMA .....	155
<b>Tabla 5.20:</b> Análisis de costos unitarios .....	159
<b>Tabla 5.21:</b> Cálculo de huella de carbono .....	161

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1:</b> Concepto de VMA .....	33
<b>Figura 2.2:</b> Equipo Copa de Cleveland .....	39
<b>Figura 2.3:</b> Viscosímetro rotacional Brookefield .....	39
<b>Figura 2.4:</b> Reómetro dinámico de cortante .....	40
<b>Figura 2.5:</b> Horno rotatorio de película delgada .....	40
<b>Figura 2.6:</b> Cámara de envejecimiento a presión. ....	41
<b>Figura 2.7:</b> Viga a flexión (reómetro).....	41
<b>Figura 2.8:</b> Límites para las granulometrías Superpave .....	44
<b>Figura 2.9:</b> Parámetros de la mezcla asfáltica .....	46
<b>Figura 2.10:</b> Compactador giratorio Superpave .....	47
<b>Figura 2.11:</b> Esquema de la compactación giratoria.....	48
<b>Figura 2.12:</b> Montaje de especímenes en el Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA).....	51
<b>Figura 2.13:</b> Equipo de flexotracción en vigas.....	52
<b>Figura 2.14:</b> Esquema de fabricación de asfalto modificado con caucho mediante el proceso por vía húmeda.....	57
<b>Figura 2.15:</b> Esquema de fabricación de la mezcla asfáltica con caucho por vía seca.....	59
<b>Figura 3.1:</b> Características de Máquina de los Ángeles.....	67
<b>Figura 3.2:</b> Calibrador de espesores.....	73
<b>Figura 3.3:</b> Calibrador de longitudes.....	73
<b>Figura 3.4:</b> Partículas no fracturadas.....	79
<b>Figura 3.5:</b> Esquema de una Partícula Fracturada con una Cara de fractura .....	80
<b>Figura 3.6:</b> Partículas fracturadas.....	80
<b>Figura 3.7:</b> Aparato de Ensayo de equivalente de arena.....	83
<b>Figura 3.8:</b> Aparato para medir la angularidad del agregado fino .....	86
<b>Figura 3.9:</b> Aguja para prueba de penetración .....	96
<b>Figura 3.10:</b> Aparato Cleveland de copa abierta .....	99
<b>Figura 3.11:</b> Molde y placa para ductilómetro .....	102
<b>Figura 3.12:</b> Aparato filtrante. ....	104
<b>Figura 3.13:</b> Moldes para ensayo Marshall .....	111
<b>Figura 3.14:</b> Martillo de compactación .....	112
<b>Figura 3.15:</b> Máquina de carga a compresión.....	113
<b>Figura 3.16:</b> Carta de Viscosidad.....	115
<b>Figura 4.1:</b> Curva granulométrica del agregado grueso.....	120
<b>Figura 4.2:</b> Curva granulométrica del agregado fino.....	124
<b>Figura 4.3:</b> % de humedad a 25 golpes (Malla N° 40).....	126
<b>Figura 4.4:</b> % de humedad a 25 golpes (Malla N° 200) .....	127

<b>Figura 4.5:</b> Curva granulométrica de la mezcla de agregados.....	131
<b>Figura 4.6:</b> Peso unitario vs % Asfalto .....	132
<b>Figura 4.7:</b> % Vacíos en la mezcla vs % Asfalto .....	132
<b>Figura 4.8:</b> % Vacíos del agregado mineral vs % Asfalto .....	132
<b>Figura 4.9:</b> Flujo vs % Asfalto.....	133
<b>Figura 4.10:</b> Estabilidad vs % Asfalto.....	133
<b>Figura 4.11:</b> Curva granulométrica del caucho a utilizar.....	134
<b>Figura 5.1:</b> Gráfico Q-Q normal de la variable Estabilidad para 1% de caucho.....	141
<b>Figura 5.2:</b> Gráfico Q-Q normal de la variable Estabilidad para 2% de caucho.....	141
<b>Figura 5.3:</b> Gráfico Q-Q normal de la variable Estabilidad para 3% de caucho.....	142
<b>Figura 5.4:</b> Gráfico Q-Q normal de la variable Flujo para 1% de caucho .....	145
<b>Figura 5.5:</b> Gráfico Q-Q normal de la variable Flujo para 2% de caucho .....	145
<b>Figura 5.6:</b> Gráfico Q-Q normal de la variable Flujo para 3% de caucho .....	146
<b>Figura 5.7:</b> Gráfico Q-Q normal de la variable %Vacíos de aire para 1% de caucho .....	149
<b>Figura 5.8:</b> Gráfico Q-Q normal de la variable %Vacíos de aire para 2% de caucho .....	149
<b>Figura 5.9:</b> Gráfico Q-Q normal de la variable %Vacíos de aire para 3% de caucho .....	150
<b>Figura 5.10:</b> Gráfico Q-Q normal de la variable %VMA para 1% de caucho .....	153
<b>Figura 5.11:</b> Gráfico Q-Q normal de la variable %VMA para 2% de caucho .....	153
<b>Figura 5.12:</b> Gráfico Q-Q normal de la variable %VMA para 3% de caucho .....	154
<b>Figura 5.13:</b> Comparación de la estabilidad entre la mezcla patrón versus la mezcla patrón + 1% de caucho .....	156
<b>Figura 5.14:</b> Comparación del flujo entre la mezcla patrón versus la mezcla patrón + 1% de caucho.....	157
<b>Figura 5.15:</b> Comparación del % vacíos con aire entre la mezcla patrón versus la mezcla patrón + 1% de caucho .....	157
<b>Figura 5.16:</b> Comparación del % vacíos en el agregado mineral entre la mezcla patrón versus la mezcla patrón + 1% de caucho .....	158
<b>Figura 5.17:</b> Costos de mantenimiento (mezclas modificadas con caucho de llanta y convencionales).....	160
<b>Figura 6.1:</b> Diagrama de Flujo para la Recolección de Información.....	166
<b>Figura 6.2:</b> Certificación de los ensayos en el Laboratorio .....	196
<b>Figura 6.3:</b> Cuarteo del agregado grueso .....	215
<b>Figura 6.4:</b> Cuarteo del agregado fino .....	215
<b>Figura 6.5:</b> Análisis granulométrico para el agregado fino.....	216
<b>Figura 6.6:</b> Análisis granulométrico para el agregado grueso .....	216
<b>Figura 6.7:</b> Muestra en el horno de agregado grueso para Contenido de Humedad .....	217
<b>Figura 6.8:</b> Muestra en el horno de agregado fino para Contenido de Humedad .....	217
<b>Figura 6.9:</b> Límite de Consistencia – Limite Líquido.....	218

<b>Figura 6.10:</b> Límite de Consistencia – Limite Plástico .....	218
<b>Figura 6.11:</b> Ensayo Abrasión Los Ángeles .....	219
<b>Figura 6.12:</b> Material de desgaste por abrasión .....	219
<b>Figura 6.13:</b> Preparación de solución para Durabilidad al Sulfato de Magnesio.....	220
<b>Figura 6.14:</b> Inmersión de las muestras en la solución de Sulfato de Magnesio .....	220
<b>Figura 6.15:</b> Equipos, materiales e insumos para Equivalente de arena.....	221
<b>Figura 6.16:</b> Lectura de arena y arcilla para Equivalente de Arena.....	221
<b>Figura 6.17:</b> Calentamiento de materiales para elaboración de probetas .....	222
<b>Figura 6.18:</b> Mezcla de materiales para elaboración de probetas.....	222
<b>Figura 6.19:</b> Colocación de moldes y martillo Marshall en baño María .....	223
<b>Figura 6.20:</b> Vaciado de mezcla asfáltica en moldes pre-calentados Marshall.....	223
<b>Figura 6.21:</b> Chuseo de la mezcla asfáltica en caliente.....	224
<b>Figura 6.22:</b> Compactación de probetas con martillo Marshall .....	224
<b>Figura 6.23:</b> Extracción de probetas .....	225
<b>Figura 6.24:</b> Caucho utilizado en la mezcla asfáltica.....	225
<b>Figura 6.25:</b> Ensayo granulométrico del caucho a utilizar .....	226
<b>Figura 6.26:</b> Incorporación de caucho a los agregados pétreos .....	226
<b>Figura 6.27:</b> Adición de cemento asfáltico a la mezcla de agregados y caucho.....	227
<b>Figura 6.28:</b> Mezcla de materiales con caucho para elaboración de probetas.....	227
<b>Figura 6.29:</b> Vaciado de mezcla con caucho en moldes pre-calentados Marshall.....	228
<b>Figura 6.30:</b> Chuseo de la mezcla asfáltica con caucho.....	228
<b>Figura 6.31:</b> Compactación de la mezcla asfáltica con caucho.....	229
<b>Figura 6.32:</b> Extracción de probetas de mezcla asfáltica con caucho.....	229
<b>Figura 6.33:</b> Peso unitario de probetas de mezcla asfáltica con caucho.....	230
<b>Figura 6.34:</b> Colocación de probetas en baño maría.....	230
<b>Figura 6.35:</b> Estabilidad y flujo a través de prensa Marshall de probetas de mezclas asfálticas con caucho .....	231
<b>Figura 6.36:</b> Probetas de mezcla asfáltica con caucho después de la Prensa Marshall .....	231

## RESUMEN

La presente investigación incentiva la aplicación de materiales reciclados como parte de las mezclas asfálticas en caliente, para poder buscar como alternativa de solución al problema ambiental, del mismo modo buscando el objetivo de mejorar sus propiedades de las mezclas asfálticas, para que de tal manera se logre aumentar la vida útil, o caso contrario llegar a la vida para la cual fueron diseñados inicialmente.

La problemática del proyecto nace ante el notable deterioro existente en las actuales mezclas asfálticas, generando malestar en la población, por lo cual se pretende incorporar porcentajes (1%, 2% y 3%) de caucho de llantas en desuso en reemplazo del agregado fino, por lo tanto, se justifica el estudio para darle un uso ecológico a los neumáticos e incentivar la responsabilidad ambiental.

Para las mezclas asfálticas en caliente, se obtuvo un diseño de agregados de piedra chancada 3/4" (40%), arena chancada 3/8" (40%) y arena zarandeada 3/8" (20%) cumpliendo con la gradación tipo MAC-2, la cual fue diseñada para una granulometría densa.

Con respecto al cemento asfáltico PEN 60-70, se estableció que el contenido óptimo de asfalto es de 5.8%, además se verificó que dicho material cumple con todos los requerimientos exigidos por el Manual de Carreteras del MTC. Una vez determinado el contenido óptimo de asfalto, se procedió a la incorporación del caucho de llanta a la mezcla asfáltica, a través de la vía seca, con una temperatura y tiempo de digestión de 170°C y 2 horas respectivamente.

Comparando los parámetros Marshall entre la mezcla asfáltica convencional versus las mezclas asfálticas con los tres contenidos (1%, 2% y 3%) de caucho de llanta, se aprecia que, con los tres porcentajes de caucho, la mezcla cumple con todas las exigencias dictadas por el Manual de carreteras del MTC para una mezcla de concreto bituminoso.

Finalmente se logró analizar el efecto que genera la incorporación del caucho de llanta en mezclas asfálticas, obteniendo que el porcentaje óptimo para el caucho es del 1%, logrando mejorar la mezcla asfáltica con respecto a sus parámetros Marshall, de esta manera obteniendo beneficios positivos para empresas relacionadas a la pavimentación, debido que, por ser un material reciclado, genera menos costos en la adquisición del producto y a su vez menor costo en la etapa de mantenimiento. Asimismo, se logró reducir la huella de carbono de las llantas en 5,172.83 kgCO<sub>2</sub> para 1 km de carpeta asfáltica en caliente, alcanzando un aporte importante sobre la reducción de gases que vienen afectando a nuestro medio ambiente.

## ABSTRACT

This research encourages the application of recycled materials as part of the alternative hot solutions, to be able to do as an alternative to the environmental problem, in the same way looking for the objective of improving the properties of the physical mixtures, so that it is able to increase the useful life, or otherwise come to life for the early life class.

The problem of the project is no longer available at present, it is only available in the latest trends, the combined brands, those sold in the population, 1%, 2% and 3% of rubber in the disused tires in replacement of the fine fine, therefore, the study is justified to give an ecological use to the tires and to encourage environmental responsibility.

For hot asphalt mixtures, a design of 3/4 "crushed stone aggregates (40%), 3/8" crushed sand (40%) and 3/8 "sand sands (20%) was achieved. with the MAC-2 type gradation, which was designed for a dense granulometry.

With respect to the asphalt cement PEN 60-70, it was established that the optimum content of asphalt is 5.8%, in addition it was verified that said material meets all the requirements demanded by the Manual of Roads of the MTC. Once the optimum asphalt content was determined, the tire rubber was added to the asphalt mixture, through the dry route, with a temperature and time of digestion of 170 ° C and 2 hours respectively.

Comparing the Marshall parameters between the conventional asphalt mixture versus the asphalt mixes with the three contents (1%, 2% and 3%) of rim rubber, it can be seen that, with the three percentages of rubber, the mixture meets all the requirements dictated by the Road Manual of the MTC for a mixture of bituminous concrete.

Finally, it was possible to analyze the effect generated by the incorporation of tire rubber in asphalt mixtures, obtaining the optimum percentage for rubber of 1%, improving the mixture with respect to the Marshall parameters, thus obtaining positive benefits for companies. related to paving, because, being a recycled material, it generates less costs in the acquisition of the product and its lower cost in the maintenance stage. Likewise, the carbon footprint of the tires was reduced by 5,172.83 kg of CO<sub>2</sub> for 1 km of hot asphalt, achieving an important value on the reduction of the gases that affect our environment.



## **NOTA DE ACCESO**

**No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales**

## REFERENCIAS

- Angulo, R. (2005). *Modificación de un asfalto con caucho reciclado de llanta para su aplicación en pavimentos*. (Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Barrientos, B. (2010). *Utilización del grano de caucho proveniente de llantas en mezclas asfálticas en caliente*. (Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil). Universidad Técnica de Oruro, Oruro, Bolivia.
- Bisso Fernández R. (Octubre, 2009). *Pavimentos flexibles amigables*. Ponencia en el XI Congreso Nacional del Asfalto y II Congreso Nacional de Concreto. Lima.
- Chavéz, J. (2005). *Estudio de factibilidad técnico - económica entre un pavimento de asfalto convencional y uno modificado con agregado de caucho*. (Tesis de maestría). Instituto tecnológico de la construcción, Chihuahua, México.
- Delarze, P. (2008). *Reciclaje de neumáticos y su aplicación en la construcción*. (Tesis para obtener el título de Ingeniero Constructor). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Diaz, C. (2017). *Implementación del grano de caucho reciclado (gcr) Proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas Asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá*. (Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil). Universidad Santo Tomas, Bogotá, Colombia.
- Fajardo, L. & Vergaray, D. (2014). *Efecto de la incorporación por vía seca, del polvo de neumático reciclado, como agregado fino en mezclas asfálticas*. (Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil). Universidad de San Martín de Porres, Lima, Perú.
- Guevara, J. & Ruiz, C. (2016) "Análisis comparativo de áridos del sector el Milagro estabilizados con asfalto de caucho reciclado y asfalto convencional para capas bases". (Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil). Universidad de Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.
- Hernández, Y. (2004). *Asfalto Ahulado*. (Tesis de licenciatura). Instituto tecnológico de la construcción, Ciudad de México (D.F.), México.
- Huamán, N. (2011). *La deformación permanente en las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en el Perú*. (Tesis para optar el grado

- académico de maestro en ciencias con mención en ingeniería de transportes). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Instituto del Asfalto (1982). Principios de Construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Estados Unidos
  - Instituto de Construcción y Gerencia (2000). Manual de ensayos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (EM – 2000) [Disco compacto]. Lima, Perú.
  - López, A. (2014). *Estudio de la huella de carbono de un componente del automóvil*. (Tesis para obtener el título de Ingeniero en Organización Industria). Universidad Politécnica de Cataluña, España.
  - Ministerio de Fomento y Medio Ambiente (2007). Manual de empleo de caucho de NFU (neumáticos fuera de uso) en mezclas bituminosas. España.
  - Ministerio de Transportes y comunicaciones (2013). Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción de Carreteras-EG-2013. Lima, Perú.
  - Ramírez, A., Ladino, I. & Rosas, J. (2014). *Diseño de mezcla asfáltica con asfalto caucho tecnología gap graded para la ciudad de Bogotá*. (Tesis para obtener el título de Especialista en Pavimentos). Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
  - Ramírez, N. (2006). *Estudio de la utilización de caucho de neumáticos en mezclas asfálticas en caliente mediante proceso seco*. (Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil). Universidad de Chile, Santiago, Chile.
  - Salcedo, C. (2008). *Experiencia de Modificación de Cemento Asfáltico con Polímeros SBS en Obra*. (Tesis para optar el Grado de Máster en Ingeniería Civil). Universidad de Piura, Perú.
  - Salinas, P. (2009). *Aplicación de micropavimento usando asfalto modificado con polímero en la vía Sullana–Aguas Verdes*. (Tesis para obtener el título de Ingeniera Civil). Universidad de Piura, Perú.
  - Salvatierra, J. (2014). *Desarrollo de un aglomerado asfáltico con polvo de caucho, en la ciudad de Huanta - Ayacucho*. (Tesis para optar el título de Ingeniero Químico). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Perú.